

Обработка технологии создания внутреннего геттера для фоточувствительных приборов с зарядовой связью нового поколения

Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак
ГУП «НПП "Пульсар"», Москва, Россия

С. В. Трунов
АООТ «НИИМЭ и завод "Микрон"», Москва, Россия

При обработке технологии создания внутреннего геттера выяснено, что до стадии создания чистой зоны необходимо вырастить на поверхности пластины защитный окисел

толщиной не более 70 \AA . Обнаружена корреляция между плотностью precipитатов и убылью концентрации межзельного кислорода, что позволяет заменить разрушающий контроль качества внутреннего геттера неразрушающим. Оптимальная для создания внутреннего геттера концентрация кислорода в кремниевых пластинах лежит в узких пределах $(7,5 \div 9) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

При изготовлении фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) для удаления из рабочей области металлических примесей и дефектов упаковки обычно применяется хорошо отработанный процесс диффузионного геттерирования, который является заключительной высокотемпературной операцией технологического цикла. В качестве фотоприемного элемента ФПЗС нового поколения как линейных, так и матричных используется так называемый НАД-фотодиод, имеющий, кроме традиционного $p-n$ -перехода, дополнительный переход, образованный очень тонкой ($\approx 0,1 \text{ мкм}$) приповерхностной областью p^+ -типа. Наличие такого тонкого слоя исключает применение после его создания высокотемпературных обработок, в том числе диффузионного геттерирования. Это вызвало необходимость использования внутреннего геттерирования, которое является первой стадией технологического цикла.

Цель данной работы — отладка процесса получения пластин с внутренним геттером в условиях завода "Микрон". За основу был взят обычный цикл низкотемпературных и высокотемпературных обработок:

высокотемпературный отжиг ($>1100 \text{ }^\circ\text{C}$) в азотно-кислородной среде с малой концентрацией кислорода в течение 6 ч для аут-диффузии кислорода в целях создания чистой зоны;

образование зародышей precipитатов кислорода при низкой температуре ($700\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$);

рост кислородных precipитатов при высокой температуре ($1000\text{--}1050 \text{ }^\circ\text{C}$) [1].

В первую очередь необходимо было подобрать концентрацию кислорода в кремниевых пластинах, обеспечивающую создание в объеме пластины внутреннего геттера с требуемой плот-

ностью. Работа проводилась на большом массиве пластин марок КДБ20, КДБ40, КЭФ20 с ориентацией (100), изготовленных в 1986 и 1990 гг. из кремния, выращенного методом Чохральского.

Концентрация кислорода в пластинах измерялась по ИК-спектрам пропускания при комнатной температуре на ИК Фурье-спектрометре ФСМ1201 с использованием коэффициента пересчета $2,45 \cdot 10^{17}$. Диаметр пятна ИК-излучения 10 мкм. Прибор снабжен двухкоординатным измерительным столом и позволяет в автоматическом режиме измерять параметры кремниевых пластин в заданных точках. В сочетании с малым диаметром светового пятна это позволило проследить разброс концентрации кислорода по пластине.

Оказалось, что концентрация кислорода в использованных пластинах может быть как практически одинаковой по всей их поверхности, так и изменяться от $10 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в центре и до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ — на краях (1,5 см от края пластины). На рис. 1 приведены примеры распределения: начальной концентрации кислорода по диаметру пластины (верхние кривые) и убыли концентрации кислорода после проведения геттерирования. Видно, что чем больше начальная концентрация кислорода в данной точке, тем больше ее падение в процессе геттерирования. Из рис. 1 также следует, что межзельного кислорода остается меньше в точках с большей начальной концентрацией кислорода, что, вероятнее всего, обусловлено тем, что наши термообработки не доводят процесс геттерирования до конца, а поскольку скорость геттерирования пропорциональна $[O_i]$, то в точках с большей начальной $[O_i]$ процесс геттерирования успевает пройти на большую глубину.

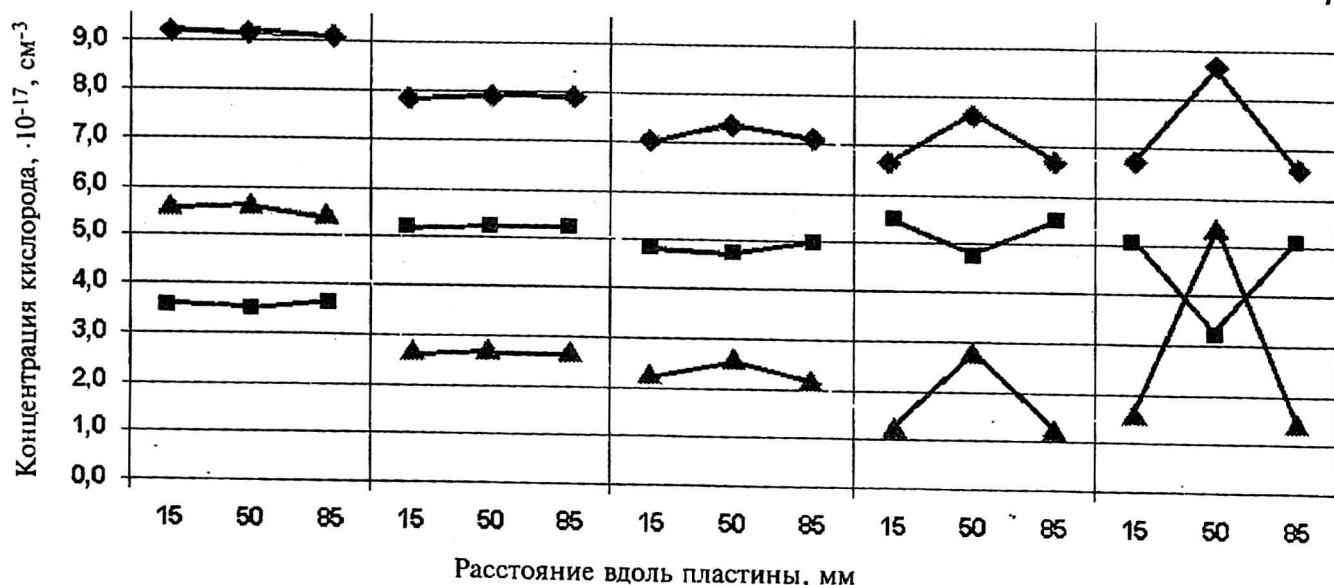


Рис. 1. Примеры распределения концентрации кислорода по диаметру пластины и ее убыли после геттерирования (для пяти разных пластин):

—♦— — начальная $[O_i]$; —■— — конечная $[O_i]$; —▲— — убыль $[O_i]$

Качество внутреннего геттера оценивали двумя способами: оптическим наблюдением преципитатов и ОДУ на травленных сколах пластин и уменьшением концентрации кислорода в пластинах после проведения геттерирования.

Выявление нарушений структуры на поверхности пластины и их расположения в объеме проводилось травлением поверхностей и сколов пластин в хорошо известном травителе Wright. Объемную плотность геттерирующих центров определяли на поверхности после удаления полирующим травлением слоя толщиной 100 мкм в травителе с повышенной концентрацией CrO_3 [2].

На рис. 2 приведена серия микрофотографий поперечных сколов участков пластин с разным

содержанием кислорода. Так, с уменьшением концентрации кислорода плотность преципитатов заметно уменьшается, одновременно увеличивается ширина чистой зоны.

Подсчет плотности преципитатов показал, что при $[O_i] = 7,5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ плотность микродефектов обычно порядка 10^{10} cm^{-3} . По данным работы [3], такая плотность геттерирующих центров уже позволяет заметно увеличить время жизни неосновных носителей заряда в приповерхностных областях кремниевых пластин. Увеличение концентрации кислорода свыше $9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ приводит к заметному уменьшению чистой зоны. Таким образом, оптимальная концентрация кислорода лежит в довольно узких пределах $(7,5 \div 9) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

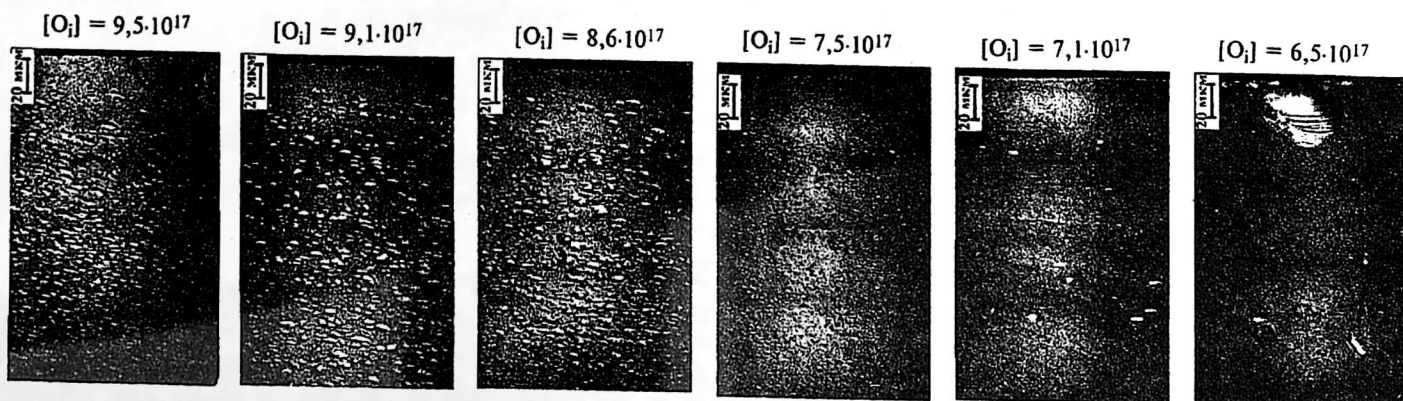


Рис. 2. Серия микрофотографий поперечных сколов участков пластин (содержание кислорода указано над рисунками)

На рис. 3 показана зависимость плотности преципитатов от убыли концентрации кислорода. Наличие корреляции между плотностью преципитатов и убылью кислорода в процессе геттерирования позволяет оценивать плотность преципитатов по убыли концентрации кислорода. Если убыль кислорода больше $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, то плотность преципитатов не менее 10^{10} , что, как указывалось выше, достаточно для эффективного геттерирования. Таким образом, разрушающий контроль качества внутреннего геттера путем подсчета плотности преципитатов можно заменить неразрушающим — по измерению падения концентрации кислорода.

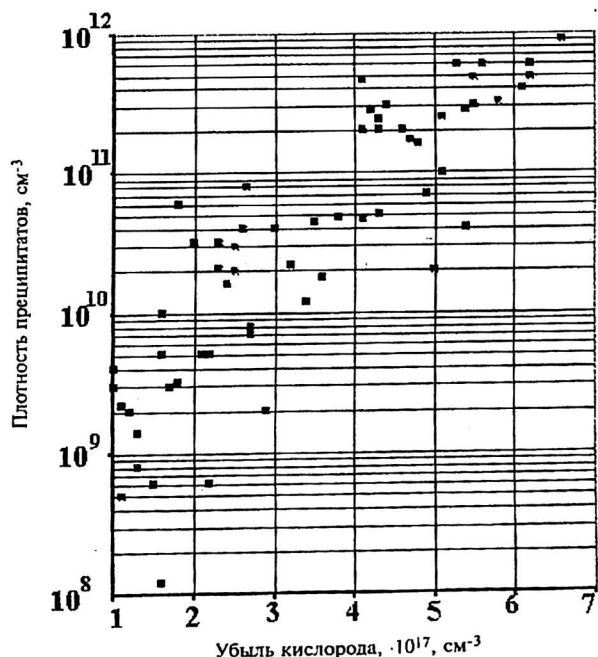


Рис. 3. Зависимость плотности преципитатов от убыли концентрации кислорода

Из рис. 3 также видно, что если убыль концентрации кислорода на всем массиве исследованных пластин изменяется в пределах одного порядка, то соответствующая плотность геттерирующих центров изменяется на несколько порядков. Для пластин с неравномерным распределением кислорода плотность преципитатов может изменяться до 10^{11} см^{-3} в центре до практически полного отсутствия — на краях (рис. 4). Соответственно, в центре пластины получатся годные приборы, а по краям пластины получатся приборы с дефектами.

При контроле качества внутреннего геттера было обнаружено, что если первая высокотемпературная стадия проводится в окисляющей среде, то чистая зона отсутствует: дефекты упаковки расположены по всей толщине пластины и выходят на поверхность (рис. 5, б, в). Мы предположили, что слишком толстый окисел препятствует созданию чистой зоны. Были проведены экспериментальные процессы создания внутреннего геттера, в которых до стадии создания чистой зоны выращивались окислы разной толщины, а весь остальной процесс проводился в чистом азоте. Толщина окисных пленок измерялась методом эллипсометрии на установке ЛЭФЗМ1. Результаты приведены в таблице.

Видно, что если толщина окисла больше 70 \AA , чистая зона исчезает, и на поверхности появляются дефекты упаковки. На пластинах с толщиной окисла менее 70 \AA дефекты упаковки не наблюдались. Проведение процесса в чистом азоте нежелательно, так как возможна эрозия поверхности.

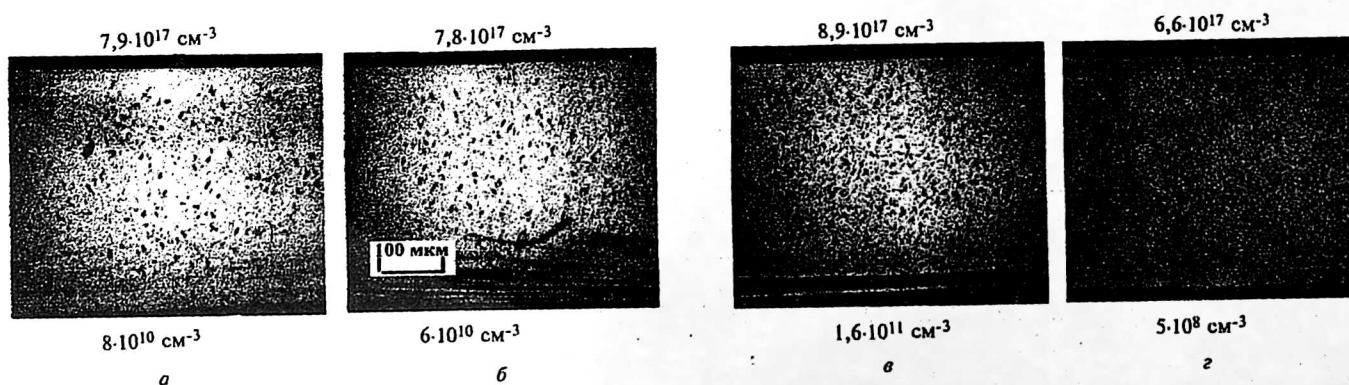


Рис. 4. Микрофотографии поперечных сколов центра (а и в) и краев (б и г) пластин с равномерным (а и б) и неравномерным (в и г) содержанием кислорода (содержание кислорода указано над рисунками; плотность преципитатов указана под рисунками)

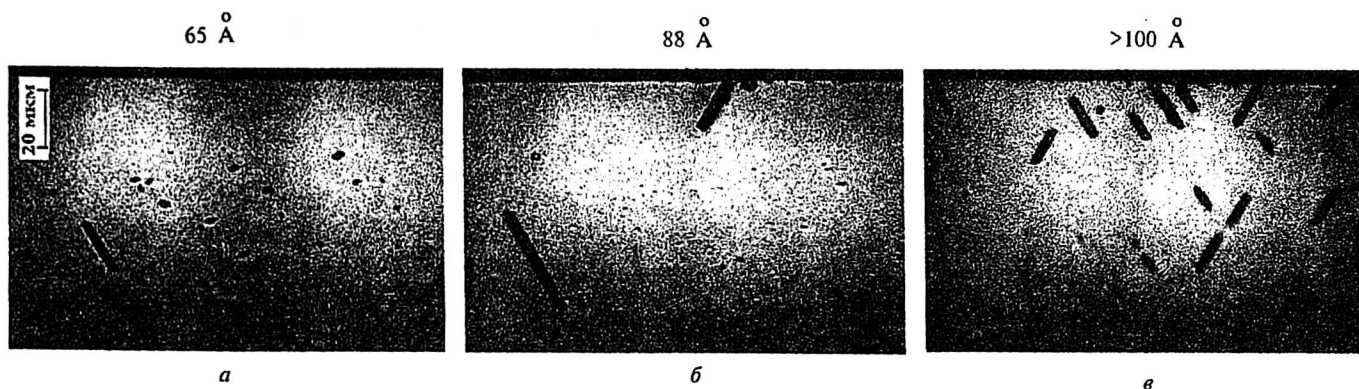


Рис. 5. Формирование дефектов упаковки в чистой зоне для пластин с разной толщиной окисла после первой высокотемпературной стадии процесса геттерирования:

a — процесс 1 (см. табл.); б — процесс 4; в — процесс 5 (толщина окисла указана над рисунками)

| № процесса | Толщина окисла, Å | Плотность ОДУ на поверхности пластины, см ⁻³ |
|------------|-------------------|---|
| 1 | 65 | Нет |
| 2 | 70 | " |
| 3 | 70 | " |
| 4 | 88 | 0,2·10 ² |
| 5 | >100 | 3·10 ⁴ |
| 6 | >100 | 5·10 ⁴ |

Толщина окисла 70 Å соответствует незавершенному переходному слою [4], когда еще имеется много вакансий, позволяющий выходящему из чистой зоны кислороду реагировать с кремнием, не образуя дефектов упаковки. На необходимость предварительного создания окисла толщиной 30 Å указывалось авторами волшебной свободной зоны, которая создается за счет отсутствия вакансий [5], а не за счет отсутствия кислорода как в традиционной технологии. Тонкий окисел в работе [5] служит стоком вакансий.

Выводы

1. Оптимальная для создания внутреннего геттера с требуемой плотностью геттерирующих центров начальная концентрация кислорода в кремниевых пластинах лежит в довольно узких пределах (7,5÷9)·10¹⁷ см⁻³.

2. Наличие корреляции между плотностью precipитатов и убылью концентрации кислорода позволяет заменить разрушающий контроль качества внутреннего геттера путем подсчета

плотности precipитатов неразрушающим измерением падения концентрации кислорода в пластинах.

3. До стадии создания чистой зоны необходимо вырастить на поверхности пластины защитный окисел толщиной не более 70 Å.

Авторы выражают благодарность сотрудникам:

АООТ «НИИМЭ и завод "Микрон"»
Т. А. Облыгиной и Г. И. Никитиной

за организацию и проведение процессов геттерирования;

ОАО "ЭЛМА" Г. В. Макаркиной, С. А. Сомову,
О. Г. Сухорукову за проведение измерений концентрации межзельного кислорода в кремниевых пластинах.

Литература

1. Shimura F. Semiconductor Silicon Crystal Technology. — Academic Press, Inc., San Diego Calif., 1989.
2. Русак Т. Ф., Енишерлова К. Я., Резник В. Я.// Кристаллография. 1992. Т. 37. С. 1237—1239.
3. Енишерлова К. Л., Мильвидский М. Г., Резник В. Я., Русак Т. Ф.// Там же. 1991. Т. 36. Вып. 5. С. 1259—1266.
4. Зайцев Н. А. Структурно-примесные и электрофизические свойства системы Si-SiO₂. — М.: Радио и связь, 1993.
5. Patent US 5,994,761, H 01 L 29/36, Falster R., Cornara M., Gambaro D., Olmo M., 11.30.99.

Internal gettering processes for new generation photosensitive charge-coupled devices

E. V. Kostyukov, M. A. Pospelova, T. F. Rusak
"Pulsar" Science Research Institute, Moscow, Russia

S. V. Trounov
Joint Stock Company «NIIME and "Mikron"», Moscow, Russia

During developing processes of internal getter forming it has been found out that thin oxide layer (thickness less than 70 \AA) have to be formed on the surface of the wafer before the stage of a defect-free zone formation to prevent harmful action of nitrogen at high temperatures. The obtained correlation between precipitate density and falling of interstitial oxygen concentration makes it possible to apply the non-destruction internal getter quality testing method instead of the destruction one. The optimal oxygen concentration in silicon wafers for internal getter forming is in the narrow range $(7.5 \div 9) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.